

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : 2 555 321
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 83 18319

⑤1 Int Cl⁴ : G 01 T 1/204; G 01 N 23/04.

⑫ DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 17 novembre 1983.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 21 du 24 mai 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA RE-
CHERCHE SCIENTIFIQUE. — FR.

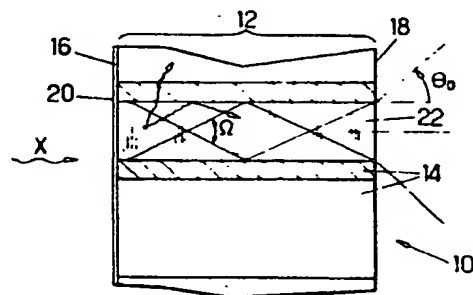
⑦2 Inventeur(s) : Francois Polack et Emmanuel Bigler.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Plasseraud.

⑤4 Dispositif de détection de rayonnements X à scintillation.

⑤7 Le dispositif de détection comprend un écran constitué
par des microtubes 14 transparents à la lumière émise par un
matériau scintillateur 22 qui occupe les canaux des microtubes.
Le matériau scintillateur a un indice optique supérieur à celui
du matériau constitutif des microtubes 14 de façon à consti-
tuer, avec ces derniers, des fibres optiques à saut d'indice
guidant la lumière vers la face de sortie 18. Le dispositif est
applicable chaque fois que l'on recherche à la fois une sensibi-
lité élevée et une bonne résolution.



Best Available Copy

FR 2 555 321 - A1

D

Dispositif de détection de rayonnements X à scintillation

L'invention a pour objet un dispositif de détection de rayonnements X à scintillation destiné à fournir, d'un champ de rayonnements X, une image dans le spectre visible, ce qualificatif devant être entendu comme s'appliquant à l'ensemble du spectre de sensibilité de la plaque photographique. L'invention est susceptible d'application chaque fois qu'il est nécessaire d'obtenir tout à la fois une sensibilité élevée, ce qui exige l'emploi d'une couche épaisse de scintillateur, et une bonne résolution.

On sait que les détecteurs de rayons X basés sur la fluorescence d'un scintillateur dans le visible permettent d'atteindre une sensibilité élevée, car on peut dépasser un rendement quantique de 50% à condition d'adopter une couche d'épaisseur suffisante de scintillateur. Mais tout épaississement de la couche dégrade la résolution spatiale du détecteur par suite de la diffusion de la lumière de fluorescence dans la masse de scintillateur. En conséquence, les écrans classiques de détection de rayonnements X ont une résolution qui ne peut guère descendre au-dessous de 50 microns lorsqu'on recherche un compromis acceptable entre sensibilité et résolution.

Diverses tentatives ont déjà été faites pour affranchir les détecteurs de cet antagonisme. La solution qui vient alors à l'esprit consiste à guider le rayonnement de scintillation vers la face de collection de lumière. Pour cela, on a proposé des détecteurs comportant une mosaïque d'éléments scintillateurs séparés par des surfaces réfléchissantes (US-A-3 041 456) ou constitués par des cristaux allongés parallèles (EP-A-00 42 149). On a également proposé de craqueler une plaque de matériau scintillateur pour constituer des éléments distincts (US-A-3 825 763). On a également proposé de constituer un détecteur destiné à la radiographie comportant une structure tenant en sandwich un film sensible et dont la partie aval est formée d'une mosaïque de cristaux allongés parallèles (US-A-4 101 782).

Aucune de ces constitutions n'est vraiment satisfaisante. L'emploi de craquelures ou de cristaux allongés donne naissance à une structure irrégulière, constituée d'éléments scintillateurs ayant des dimensions en plan très variables, n'assurant qu'un guidage imparfait. Quant au compartimentage par des cloisons croisées réfléchissantes, il est pratiquement impossible à réaliser avec un pas suffisamment faible pour améliorer notablement la résolution.

La présente invention vise à fournir un dispositif de détection de rayonnements X à scintillation répondant mieux que ceux antérieurement connus aux exigences de la pratique, notamment en ce qu'il supprime la nécessité d'un compromis entre sensibilité et définition, tout en restant de constitution générale simple.

Dans ce but, l'invention propose notamment un dispositif de détection de rayonnements X comportant un écran constitué par une mosaïque d'éléments scintillateurs contenant un matériau scintillateur et capables de guider la lumière formée vers la face de sortie de l'écran, caractérisé notamment en ce que les éléments sont constitués par des tubes transparents à la lumière émise par le scintillateur, contenant le matériau scintillateur dont l'indice est supérieur à celui du matériau des tubes de façon que les éléments se conduisent comme des fibres optiques à saut ou à gradient d'indice.

C'est le diamètre des tubes qui fixera la résolution du dispositif. On sait déjà réaliser des galettes de microtubes disposées suivant un réseau hexagonal de pas 15 microns, c'est-à-dire inférieur à la résolution courante des écrans scintillateurs disponibles jusqu'ici. Le matériau scintillateur, qui associe un composé (ou, plus généralement, un groupe de composés) scintillateur à un solvant, peut être sous forme solide. Mais il est beaucoup plus facile de prévoir un matériau scintillateur liquide, pouvant être retenu par capillarité à l'intérieur des microtubes, ce guide pouvant être prévu pour se transformer en gel après mise en place.

Le rendement du dispositif peut être accru en revêtant la face d'entrée d'une couche mince, par exemple métallique,

transparente aux rayonnements X incidents mais constituant miroir pour le rayonnement de scintillation.

Un tel dispositif peut être utilisé pour impressionner directement un film sensible appliqué sur sa face aval. En radiographie d'objets biologiques par exemple, il permet d'obtenir une résolution spatiale accrue pour une exposition donnée de l'objet. Le plus souvent, l'écran sera de petites dimensions et il sera associé à une optique d'agrandissement d'image. L'écran peut encore être incorporé à des structures composites du genre décrit dans les documents cités plus haut.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un dispositif qui en constitue un mode de réalisation particulier, donné à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère au dessin qui l'accompagne, dans lequel :

- la Figure 1 est un schéma de principe à grande échelle montrant quelques uns des éléments scintillateurs du dispositif, dont l'un est en coupe,
- la Figure 2 est un schéma de principe montrant un dispositif comportant un système optique d'agrandissement associé à l'écran.

L'écran scintillateur 10 dont une fraction est montrée en Figure 1 comporte une galette 12 de microtubes 14 accolés, dont un apparaît en coupe sur la Figure. Les faces d'entrée 16 et de sortie 18 seront généralement planes et parallèles, bien qu'il soit possible de leur donner une courbure pour les adapter à certains emplois particuliers. Pour augmenter le rendement, on peut revêtir la face d'entrée 16 d'une couche mince 20 de matériau transparent aux rayons X et réfléchissant pour le rayonnement lumineux de scintillation.

Chaque microtube est constitué en un matériau transparent au rayonnement de fluorescence émis par un matériau scintillateur 22 qu'il contient. Ce matériau scintillateur comporte un scintillateur proprement dit dans un milieu transparent au rayonnement de scintillation et d'indice n_2 supérieur à l'indice n_1 du matériau constitutif du microtube. On réa-

lise ainsi un élément ayant une structure comparable à celle d'une fibre optique à saut d'indice. Une fraction de la lumière de fluorescence émise par la scintillateur émerge par la face de sortie 18 sous forme d'un flux situé dans un cône d'angle :

$$\alpha = 2\pi [1 - n_1/n_2]$$

Ce flux de rayonnement guidé émerge à la sortie dans un cône dont la demi-ouverture est :

$$\theta_0 = \text{Arc sin} [\sqrt{n_2^2 - n_1^2}]$$

- 10 Le rayonnement de fluorescence qui ne subit pas la propagation guidée se retrouve également à l'extrémité des microtubes. Mais, par suite de réfractions multiples entre différents microtubes, l'information de localisation est alors perdue. Pour éviter la présence du bruit de fond que
15 constituerait ce rayonnement non guidé, on peut l'éliminer en utilisant le fait qu'il est émis avec un angle de sortie dans l'air θ' qui est supérieur à θ_0 . Il suffit de reprendre le flux lumineux de sortie par un système optique dont l'ouverture θ ne dépasse pas θ_0 . On ne recueille ainsi que de
20 la lumière de fluorescence guidée, ayant conservé l'information de localisation. Dans le cas optimal où $\theta = \theta_0$, le rendement r de collection du système est alors :

$$r = [1 - n_1/n_2] \text{ si un miroir d'entrée est utilisé.}$$

- On voit qu'il est important de prévoir une différence
25 d'indices aussi élevée que possible entre le matériau scintillateur et le matériau constitutif des microtubes. Un premier mode de fabrication consiste à réaliser les éléments par fractionnement d'une longueur importante de fibres composites ayant une partie externe en verre de faible indice et
30 un coeur en verre scintillateur. La fibre peut alors être réalisée par les techniques courantes de fabrication des fibres. Mais une solution qui semble plus avantageuse consiste à partir d'une matrice de microtubes en matériau transparent

d'indice faible, tel que du verre minéral ou organique et de remplir les canaux des microtubes de matériau scintillateur liquide ou gélifiable d'indice élevé.

Il existe actuellement des galettes constituées par une
5 matrice de microtubes de verre, notamment destinées à la fabrication de galettes de microcanaux multiplicateurs d'électrons ou "channeltron", chaque microtube ayant un diamètre de 18 microns et les microtubes étant disposés parallèlement les uns aux autres suivant un réseau hexagonal dont le
10 pas est de 20 microns, avec une épaisseur de 0,7 mm. Le verre constitutif de ces microtubes a généralement un indice compris entre 1,55 et 1,60. On utilise également des microtubes de 12 microns au pas de 20 microns.

Les canaux des microtubes doivent être remplis de
15 matériau scintillateur ayant un indice supérieur à celui du verre. Le scintillateur proprement dit sera généralement le mélange classique de PPO et de diméthyl-POPOP, qui constituent les scintillateurs primaire et secondaire. Une telle association est classiquement utilisée en scintillation
20 liquide. En général, ces scintillateurs sont utilisés dans des solvants organiques dont l'indice est inférieur à 1,55. On utilise en effet classiquement le toluène et le xylène, dont les indices sont respectivement 1,49 et 1,50. Pour permettre la mise en oeuvre de l'invention avec une matrice
25 d'indice supérieur à 1,5, on pourra utiliser un mélange de solvants classiques et d'un autre liquide d'indice élevé, miscible avec le solvant. On peut notamment utiliser le 1-bromonaphtalène dont l'indice est 1,64.

On a notamment utilisé un détecteur comportant une
30 matrice de microtubes du genre décrit ci-dessus dont les canaux étaient remplis d'un mélange contenant 50 à 70% de 1-bromonaphtalène et 30 à 50% de toluène pur contenant en solution 25g/l de PPO et 2,5g/l de diméthyl POPOP. La différence d'indice entre le matériau scintillateur et celui constituant
35 le microtube 14 reste relativement faible, ce qui a une incidence défavorable sur le rendement de collection de la lumière de fluorescence. Mais le rendement de fluorescence ne dépend que de la nature du scintillateur et de l'épaisseur

d'interaction. Une épaisseur suffisante de la galette 12 permet d'amener aisément ce rendement de fluorescence à une valeur supérieure à 0,5. Chaque photon X donnant ainsi naissance à un grand nombre de photons visibles, le rendement quantique global du détecteur peut encore être excellent, à condition que chaque photon X incident produise un signal.

La Figure 2 montre un dispositif de formation d'image sur un film 24, associant un système optique 26 de grandissement à l'écran 10. L'écran représenté comporte la galette 12 sur un substrat transparent 28, en verre par exemple. L'objet 30 peut être placé directement contre la galette 12. Des essais ont été effectués avec une galette de microcanaux de 0,7 mm d'épaisseur, présentant une surface active en forme de cercle de 18 mm de diamètre. Le système optique 26 était constitué par un objectif de microscope. Le rayonnement X était fourni par un tube standard 32 émettant, après filtrage, essentiellement sur la raie K_{α} du chrome, c'est-à-dire avec une longueur d'onde de 2,3 Å. Le substrat 28, constitué par une lamelle couvre-objet de microscope, retenu par capillarité, a pour but de rendre optiquement plane la face de sortie de la galette, tout en réduisant au minimum l'évaporation du solvant.

En travaillant avec un agrandissement de 14/1, on a constaté qu'on obtenait une définition conforme à la théorie dans la partie centrale de la galette 12, là où les propriétés optiques de l'objectif du microscope 26 sont satisfaisantes.

L'invention ne se limite pas à la constitution particulière de détecteur qui vient d'être décrite. Parmi les variantes possibles, on peut citer des dispositifs qu'on peut qualifier d'unidimensionnels. Une telle variante pourra par exemple être réalisée par dépôt de couches alternées d'un polymère de bas indice tel que le polyméthylmétacrylate et d'un polymère scintillateur, par exemple le polyvinyltoluène d'indice 1,59 environ. La mosaïque est alors constituée d'éléments scintillateurs alignés dans une seule direction.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de détection de rayonnements X comprenant un écran constitué par une mosaïque d'éléments scintillateurs contenant un matériau scintillateur capable de
5 guider la lumière formée vers la face de sortie de l'écran, caractérisé en ce que la mosaïque est constituée de microtubes (14) transparents à la lumière émise par le matériau scintillateur, contenant le matériau scintillateur dont
10 l'indice est supérieur à celui du matériau constitutif des tubes de façon que les éléments se conduisent comme des fibres optiques.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau scintillateur est liquide et retenu par capillarité à l'intérieur des microtubes.

15 3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le matériau scintillateur est constitué par un mélange de liquide organique d'indice élevé et de solvant du scintillateur.

20 4. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le matériau scintillateur est un gel, éventuellement obtenu in situ à partir d'un liquide.

25 5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la face d'entrée (16) de l'écran est revêtue d'une couche mince (20) transparente pour le rayonnement X et constituant miroir pour le rayonnement de scintillation.

30 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'image formée sur la face de sortie (18) de l'écran est reprise par un système optique (26) dont l'ouverture ne dépasse pas l'angle de sortie des rayons guidés dans les microtubes.

35 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'épaisseur de l'écran est telle que le rendement quantique de transformation dépasse 50%.

FIG.1.

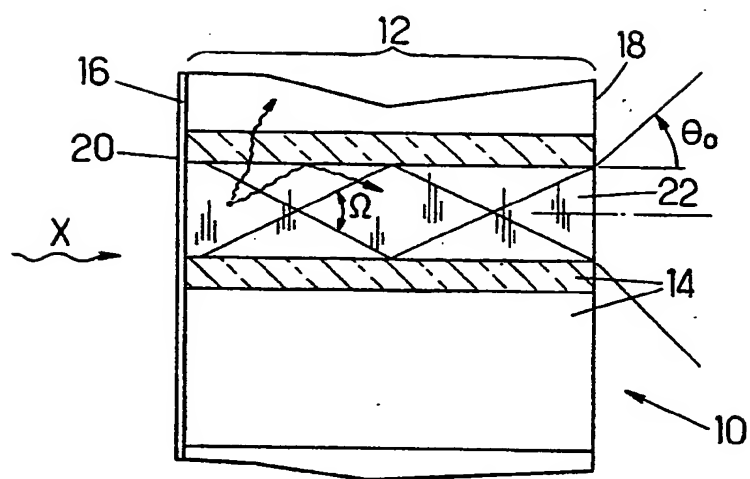
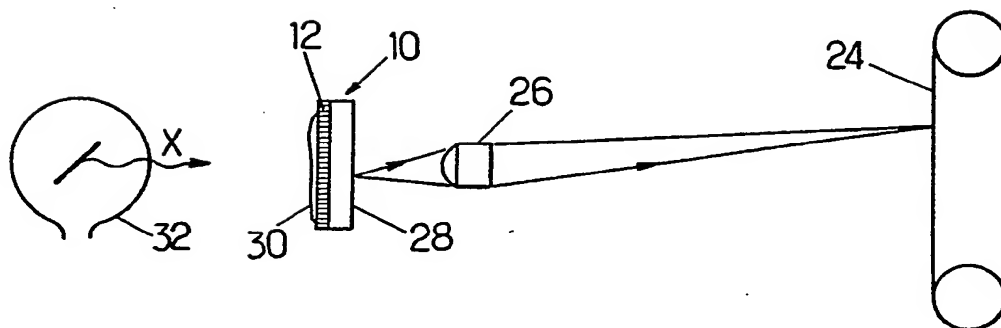


FIG. 2.



THIS PAGE BLANK (USPTO)